

## МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТА ГИБКИХ ТОКОПРОВОДОВ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ НАГРУЗКАМИ

Бладыко Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

*Аннотация:*

Приведен алгоритм расчета горизонтального отклонения гибкого провода и коэффициентов его увеличения при наличии горизонтальных сосредоточенных нагрузок, обусловленных действием ветра на распорки, заградительные шары, отпайки к электрическим аппаратам и другие конструктивные элементы распределительных устройств и воздушных линий. Выведены формулы расчета горизонтальной составляющей коэффициента нагрузки для решения уравнения состояния при наличии горизонтальных сосредоточенных сил, действующих в любых направлениях.

*Текст доклада:*

Задачей механического расчета гибких проводов распределительных устройств (РУ) и воздушных линий (ВЛ) является определение стрел провеса и тяжений в различных климатических режимах. В [1] выведены формулы для кривой провисания провода при наличии одной или нескольких сосредоточенной сил и различных натяжных гирляндах изоляторов в пролете. Получены формулы для нахождения расстояния до максимальной стрелы провеса. Выведены формулы расчета коэффициента нагрузки для решения уравнения состояния в случае разных гирлянд в пролете при одной и нескольких сосредоточенных силах. Достоверность формул доказана совпадением результатов для частного случая расположения гирлянд. Приводится алгоритм расчета стрел провеса при совместном действии вертикальных и горизонтальных нагрузок, а также в случае расположения точек подвеса провода на разных высотах. Предложена формула для оценки коэффициента увеличения стрелы провеса, обусловленного наличием сосредоточенных сил, равномерно распределенных вдоль пролета, и разных гирлянд изоляторов в пролете.

Цель доклада – определение коэффициентов для расчета стрел провеса и тяжений при горизонтальных сосредоточенных нагрузках. Они появляются при действии ветра на конструктивные элементы РУ и ВЛ: распорки, заградительные шары, отпайки к электрическим аппаратам. При отсутствии ветра горизонтальные сосредоточенные нагрузки и, следовательно, отклонения возникают при некилевом расположении отпаяк.

Расчетаная схема горизонтальной проекции пролета представлена на рис. 1.

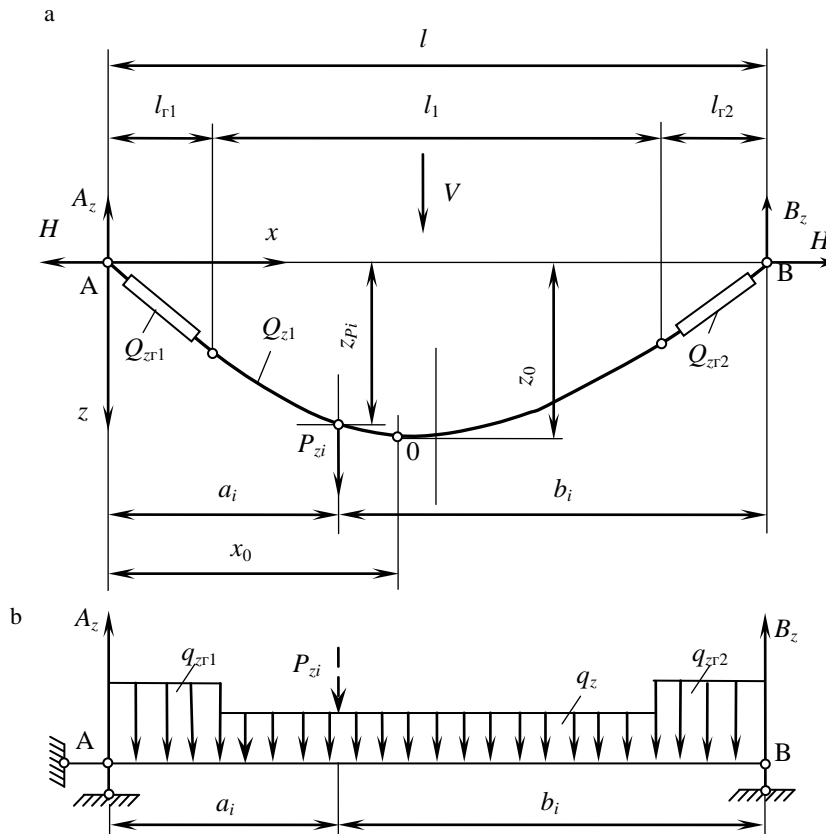


Рис.1. Расчетная схема пролета:

*a* – пролет с горизонтальными нагрузками от провода  $q_z$ , гирлянд изоляторов  $q_{zr1}$ ,  $q_{zr2}$  и горизонтальными сосредоточенными силами  $P_{zi}$ ;

*b* – пролет в виде простой разрезной балки с шарнирными опорами

На рисунке 1 показано положительное направление скорости ветра  $V$ , совпадающее с направлением горизонтальной оси  $z$ .

Ветровые нагрузки действуют на провод и гирлянды изоляторов с силой:

$$Q_{z1} = q_z l_1; Q_{zr1} = q_{zr1} l_{r1}; Q_{zr2} = q_{zr2} l_{r2},$$

где  $q_z$  – погонная горизонтальная нагрузка проводов фазы;

$q_{zr1}$ ,  $q_{zr2}$  – погонная горизонтальная нагрузка первой и второй гирлянд изоляторов;

$l_1 = l - l_{r1} - l_{r2}$ ;

$l$  – длина пролета;

$l_{r1}$ ,  $l_{r2}$  – длины первой и второй натяжных гирлянд изоляторов.

В горизонтальной плоскости действуют  $n$  сосредоточенных усилий  $P_{zi}$  ( $i = 1..n$ ) от распорок, заградительных шаров или отпаек к электрическим аппаратам.

Отклонение провода в двух плоскостях находится независимо друг от друга. Полученные в [1] выражения могут применяться независимо и для горизонтальных составляющих нагрузок. В [1] было получено выражение для оценки коэффициента увеличения стрелы провеса в вертикальной плоскости. Для горизонтальной плоскости при равномерно распределенных вдоль пролета одинаковых по величине и направлению сосредоточенных нагрузках коэффициент увеличения можно записать так:

$$K_{fz} = \frac{1 + 2\delta_{z1} + 2\delta_{z2} + (\delta_{z1} - \delta_{z2})^2 + K_{Pz}(1 + 1/n)}{\cos \theta},$$

где  $\delta_{z1} = (K_{z1} - 1)K_{r1}^2$ ;  $\delta_{z2} = (K_{z2} - 1)K_{r2}^2$  – коэффициенты, учитывающие наличие первой и второй натяжных гирлянд изоляторов при действии на них ветровой нагрузки;

$K_{z1} = \frac{q_{z1}}{q_z}$ ;  $K_{z2} = \frac{q_{z2}}{q_z}$  – кратности горизонтальных погонных нагрузок первой и второй натяжных гирлянд изоляторов относительно горизонтальной погонной нагрузки провода;

$K_{r1} = \frac{l_{r1} \cos \theta}{l}$ ;  $K_{r2} = \frac{l_{r2} \cos \theta}{l}$  – кратности длин первой и второй натяжных гирлянд изоляторов относительно длины пролета;

$K_{Pz} = \frac{P_z \cos \theta}{q_z l}$  – коэффициент горизонтальных сосредоточенных сил;

$P_z = \sum_{i=1}^n P_{zi}$  – суммарная сила  $n$  горизонтальных сосредоточенных нагрузок;

$\theta$  – угол наклона пролета ( $\text{tg} \theta = h/l$ ),  $h$  – разность высот подвеса проводов.

Максимальное горизонтальное отклонение в этом случае рассчитывается как:

$$z_0 = \frac{q_z K_{fz} l^2}{8H}, \quad (1)$$

где  $K_{fz}$  – коэффициент увеличения горизонтального отклонения;

$H$  – горизонтальная проекция тяжения в проводе.

Коэффициент увеличения отклонения, обусловленный наличием натяжных гирлянд и горизонтальных сосредоточенных сил, определяется по выражению:

$$K_{fz} = \frac{8Hz_0}{q_z l^2}.$$

При отсутствии горизонтальных распределенных нагрузок ( $q_z = 0$ ) лучше пользоваться формулой нахождения произведения  $q_z K_{fz}$ :

$$q_z K_{fz} = \frac{8Hz_0}{l^2}. \quad (2)$$

Результирующая стрела провеса в наклонной плоскости рассчитывается после нахождения составляющих в обеих плоскостях [5].

Длина эквивалентного провода (системы «первая натяжная гирлянда изоляторов – токопровод – вторая натяжная гирлянда изоляторов») определяется [1]:

$$L = l + \frac{l^2 l_1 [(q_y K_y)^2 + (q_z K_z)^2]}{24H^2} = l + \frac{D}{2H^2}, \quad (3)$$

где интеграл  $D$  рассчитывается как:

$$D = D_y + D_z; D_y = \frac{l^2 l_1 (q_y K_y)^2}{12}; D_z = \frac{l^2 l_1 (q_z K_z)^2}{12};$$

$K_y, K_z$  – коэффициенты нагрузки, учитывающие конструктивные элементы для различных климатических нагрузок, определяемые для двух плоскостей как:

$$K_y^2 = \frac{12D_y}{q_y^2 l^2 l_1}; K_z^2 = \frac{12D_z}{q_z^2 l^2 l_1}.$$

При отсутствии горизонтальных распределенных нагрузок ( $q_z = q_{zr1} = q_{zr2} = 0$ ) лучше пользоваться формулой нахождения произведения  $q_z K_z$ :

$$q_z K_z = \frac{1}{l} \sqrt{\frac{12D_z}{l_1}}. \quad (4)$$

При известных конфигурациях приложения распределенных и сосредоточенных сил интеграл определяется в общем виде по формулам:

$$D_y = \int_0^l Q_y^2(x) dx, D_z = \int_0^l Q_z^2(x) dx,$$

где  $Q_y(x)$ ,  $Q_z(x)$  – балочные поперечные силы в вертикальной и горизонтальных плоскостях.

### Литература

1. Бладыко, Ю.В. Механический расчета гибких токопроводов с сосредоточенными нагрузками / Ю.В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2020. – Т. 63, № 2. – С. 103-115.